

**PCT**  
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
 Internationales Büro  
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation <sup>5</sup> : G01N 21/65, 21/39, F02B 77/08	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 95/00833  (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 5. Januar 1995 (05.01.95)
--	----	---

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE94/00696

(22) Internationales Anmeldedatum: 22. Juni 1994 (22.06.94)

(30) Prioritätsdatum:  
P 43 20 943.2 24. Juni 1993 (24.06.93) DE

(71)(72) Anmelder und Erfinder: ANDRESEN, Peter [DE/DE];  
Hakenbreite 19, D-37127 Dornsfeld (DE).

(72) Erfinder: GRÜNEFELD, Gerd; Herzberger Landstrasse  
25a, D-37085 Göttingen (DE). BRUSHHAUSEN, Volker;  
Gänseplan 8, D-37520 Dorste (DE). HENTSCHEL,  
Werner; Volkswagen AG, 1785 - B/ZL-MP, D-58436  
Wolfburg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: europäisches Patent (AT, BE, CH, DE,  
DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

**Veröffentlicht**

*Mit internationalem Recherchenbericht.*

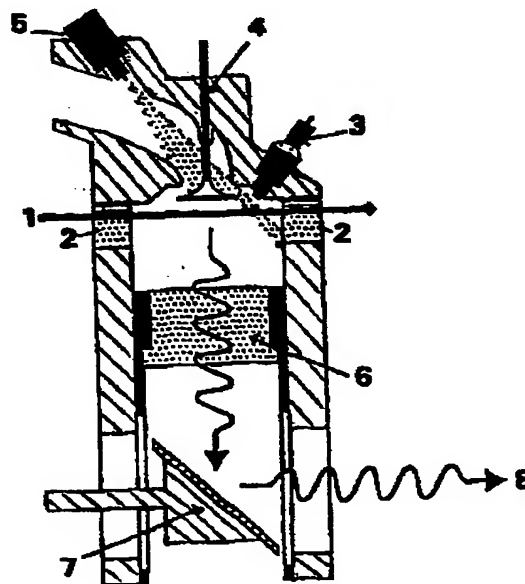
*Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen  
Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen  
eintreffen.*

(54) **Titel:** CHARACTERISATION OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES BY THE OPTICAL MEASUREMENT OF A PLURALITY OF QUANTITIES IN THE COMBUSTION CHAMBER

(54) **Bezeichnung:** CHARAKTERISIERUNG VON BRENNKRAFTMASCHINEN DURCH OPTISCHE MESSUNG MEHRERER GRÖSSEN IM BRENNRAUM

**(57) Abstract**

The operation of internal combustion engines depends considerably upon quantities which cannot be set accurately enough from outside, e.g. the stoichiometry of the fuel-air mixture before ignition, the proportion of exhaust gas in this gas mixture and its temperature. The most simultaneous and precise measurement possible of these quantities in the combustion chamber helps greatly to explain engine problems. The novel laser Raman light scatter process, for instance, permits this measurement. The process is contactless and provides good time (i.e. crank angle) and position resolution. Intense pulsed u/v lasers are used as the excitation light source for the Raman and Rayleigh scatter. The laser light (1) passes through a window (17) in the wall of the cylinder being measured into the upper part of the combustion chamber, especially to analyse the final gas before ignition. The laser-induced emissions (especially the Raman and Rayleigh scatter) can be brought out from the combustion chamber in various ways, e.g. via the same window (17) and a chroic mirror (18). The various emissions, especially the Raman emission from fuel, oxygen, nitrogen, water, etc., are quantitatively and simultaneously measured by intensified short-time cameras (CCD) combined with upstream wavelength separation (spectrometer) (8). It is thus possible also to obtain local resolution along an axis in the combustion chamber. The excitation wavelength in the u/v permits high-precision single-pulse measurements so that the small cyclic fluctuations in the mixture formation (and combustion) in the engine can be resolved. In many cases, moreover, it is necessary to separate the Raman emission from interfering (fluorescent) emissions, and this is done with the aid of polarization properties. The quantities relevant to combustion like stoichiometry and proportion of exhaust gas are found by calculating the ratio of Raman intensities, which produces high accuracy of measurement.



#### (57) Zusammenfassung

Die Arbeitsweise von Verbrennungsmotoren hängt in hohem Maße von Größen ab, die sich nicht genau genug von außen einstellen lassen, wie z.B. die Stöchiometrie des Kraftstoff/Luft-Gemisches vor der Zündung, dem Abgasanteil in diesem Gasgemisch und seiner Temperatur. Für die Klärung motorischer Fragestellungen ist daher die möglichst simultane und präzise Messung mehrerer dieser Größen im Brennraum hilfreich. Dies ermöglicht z.B. das neue Laser-Ramanstreulichtverfahren. Das Verfahren ist berührungslos und bietet eine hohe Zeit- (d.h. Kurbelwinkel-) und Ortsauflösung. Als Anregungslichtquelle für die Raman- und Rayleighstreuung werden intensive, gepulste UV Laser eingesetzt. Über ein Fenster (17) in der Zylinderwand des Meßzylinders gelangt das Laserlicht (1) in den oberen Teil des Brennraums, speziell um das Endgas vor der Zündung zu analysieren. Die laserinduzierten Emissionen (speziell Raman- und Rayleighstreuung) können auf verschiedene Weise aus dem Brennraum ausgekoppelt werden, z.B. über dasselbe Fenster (17) und einen dichroitischen Spiegel (18). Die quantitative, simultane Messung der verschiedenen Emissionen, speziell der Ramanemissionen von Kraftstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Wasser etc., erfolgt durch intensivierte Kurzzeitkameras (CCD) in Kombination mit einer vorgeschalteten Wellenlängentrennung (Spektrometer) (8). Auf diese Weise kann auch örtliche Auflösung entlang einer Achse im Brennraum erreicht werden. Durch die Anregungswellenlänge im UV sind Einzelschußmessungen mit hoher Präzision möglich, so daß die kleinen zyklischen Schwankungen der motorischen Gemischbildung (u. Verbrennung) aufgelöst werden können. Weiterhin ist in vielen Fällen die Abtrennung der Ramanemissionen von interferierenden (Fluoreszenz-) Emissionen erforderlich, was mit Hilfe von Polarisationsseigenschaften erreicht wird. Die verbrennungsrelevanten Größen wie Stöchiometrie und Abgasanteil ergeben sich durch Verhältnisbildung von Ramanintensitäten, woraus eine besonders hohe Meßgenauigkeit resultiert.

#### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	GA	Gabon	MR	Mauritanien
AU	Australien	GB	Vereinigtes Königreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GE	Georgien	NE	Niger
BE	Belgien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	IE	Irland	PL	Polen
BR	Brasilien	IT	Italien	PT	Portugal
BY	Belarus	JP	Japan	RO	Rumänien
CA	Kanada	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	KZ	Kasachstan	SK	Slowakei
CM	Kamerun	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CN	China	LK	Sri Lanka	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
ES	Spanien	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	ML	Mali	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MN	Mongolei	VN	Vietnam

### **Charakterisierung von Brennkraftmaschinen durch optische Messung mehrerer Größen im Brennraum.**

Die Arbeitsweise eines Motors hängt entscheidend von Größen ab, die nicht genau genug von außen einstellbar sind, wie z.B. der Absolutwert und die räumliche Verteilung der Stöchiometrie oder der Abgasanteil. Obwohl diese Größen im Groben vorgegeben werden, treten im Feinen Schwankungen auf, die erheblichen Einfluß auf die Betriebsbedingungen des Motors haben. Insbesondere ist beim Ottomotor - z.B. über die Messung der Druckkurve - bekannt, daß die Leistungsabgabe zyklischen Schwankungen unterliegt. Diese zyklischen Schwankungen werden verursacht durch im Prozentbereich liegende Änderungen in der Menge der zugeführten Luft, der Menge des zugeführten Kraftstoffes und Änderungen in dem vom vorherigen Zyklus verbliebenen Abgasanteil. Daher spielen diese kleinen Schwankungen eine entscheidende Rolle für die Arbeitsweise und die Optimierung, insbesondere von Ottomotoren.

Da die Stöchiometrie und auch der Abgasanteil die Leistungsabgabe entscheidend beeinflussen, spielt die kontrollierte Einstellung dieser Größen bei der Entwicklung eine wichtige Rolle. Über eine exakte simultane Messung dieser und aus anderen Teilchendichten resultierenden Größen, für die in der vorliegenden Patentschrift eine Meßanordnung angegeben wird, kann die Wirkung externer Maßnahmen auf diese Größen überprüft werden.

Mit den bis heute verfügbaren Meßmethoden war eine gleichzeitige präzise Messung dieser Größen im Brennraum von Motoren für einen einzelnen Verbrennungszyklus nicht mit hinreichender Präzision möglich. In dem hier vorgeschlagenen Verfahren wird eine Meßanordnung vorgestellt, mit der es möglich ist, gleichzeitig den verbliebenen Abgasanteil, die zugeführte Luftmenge, die zugeführte Kraftstoffmenge und die Leistungsabgabe (über die Druckkurve) für einen einzelnen Verbrennungszyklus mit so großer Präzision zu ermitteln, daß der Einfluß der zyklischen Schwankung der Gaszusammensetzung auf die Leistungsabgabe bestimmt werden kann. Es ist auch möglich, weitere Größen simultan zu erfassen.

Für das Verfahren ist es wichtig und patentrelevant, daß diese Messung mit hinreichend hoher Präzision (um 1%) erfolgt, so daß der Einfluß der kleinen zyklischen Änderungen in der Gaszusammensetzung auf die Leistung erfaßt werden kann. So kann z.B. meßtechnisch erfaßt werden, welchen Einfluß der Abgasanteil, die Stöchiometrie - oder auch andere Größen, wie der Druckverlauf des vorherigen Zyklus - auf die Leistungsabgabe haben. Zyklen mit magerer Stöchiometrie und viel Abgasanteil führen z.B. zu einer verminderten Leistungsabgabe. Wichtig und patentrelevant ist, daß der Einfluß der Meßgrößen auf die Leistungsabgabe meßtechnisch - durch die hohe Präzision des Verfahrens - unterschieden werden kann.

**ERSATZBLATT**

Die Messungen können auch gemittelt über verschiedene Zyklen erfolgen. In diesem Fall kann - ohne die Schwankungen im einzelnen zu kennen - bestimmt werden, bei welchen mittleren Werten von Stöchiometrie und Abgasanteil der Motor arbeitet. Bei Variation von motorischen Bedingungen kann - gemittelt - z.B. der Einfluß verschiedener Einspritzvarianten, der Last oder des Zündzeitpunktes auf die Gasmischung vor der Zündung und die Leistungsabgabe bestimmt werden.

Die Messung der Mengen von Luft, Kraftstoff und der Menge des verbliebenen Abgasanteils erfolgt nach dem zu patentierenden Verfahren über optische Meßtechnik.

Eines der Verfahren ist dabei die Ramanstreuung. Es ist wohl bekannt, daß die Ramanstreuung für die Messung der Dichten von Majoritätenspezies verwendet werden kann (Eckbreth: Laser Diagnostics for Combustion: Temperature and Species. A.E. Gupta, D.G. Liley eds. Vol.7 of Energy and Engineering Sciences, Abacus Press Cambridge, MA 1988). Wegen der relativ schwachen Intensität der Ramanstreuung und dem gleichzeitigen Auftreten anderer durch den Laser verursachten Leuchterscheinungen ist es aber schwierig (I), hinreichend viel Signal für die Unterscheidung der kleinen zyklischen Schwankungen zu erhalten und (II) die Ramanemission von den anderen Emissionen zu unterscheiden. Es ist wohl bekannt, daß der Einsatz der Ramanstreuung - z.B. bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen - durch diese anderen Emissionen in der Genauigkeit erheblich eingeschränkt ist (siehe Eckbreth).

Zu (I): Die Erzeugung eines hinreichend großen Signals wird dadurch erreicht, daß die Ramanstreuung mit intensiven gepulsten Lasern im tiefen UV durchgeführt wird. Es ist wohl bekannt, daß die Intensität der Ramanstreuung mit der vierten Ordnung der Frequenz zunimmt und daher im tiefen UV besonders intensiv ist.

Zu (II): Die Unterscheidung von anderen Leuchterscheinungen wird unter anderem dadurch erreicht, daß die Polarisierung der Ramanstreuung ausgenutzt wird. Da die anderen durch den Laser verursachten Leuchterscheinungen meist unpolarisiert sind, erhält man durch die Einstellung des elektrischen Vektors des Laserlichts in Beobachtungsrichtung - vereinfacht gesagt - den Untergrund U und durch Einstellung des elektrischen Vektors des Laserlichts senkrecht zur Beobachtungsrichtung die Summe  $S_r + U$  aus Ramansignal  $S_r$  und Untergrund U und kann dann durch Differenzbildung  $S_r = (S_r + U) - U$  das Ramansignal separat bestimmen. In analoger Weise kann - ohne eine Drehung des elektrischen Vektors des Laserlichtes - der Untergrund bestimmt werden, indem die Emission in Beobachtungsrichtung nach Polarisationsanteilen (z.B. durch Polarisationsfilter) analysiert wird. Wiederum liefert die eine

**ERSATZBLATT**

Polarisationsrichtung den Untergrund und die andere Polarisationsrichtung Signal + Untergrund, so daß das Ramansignal getrennt bestimmt werden kann. Der Vorzug der letzteren Variante ist, daß in ein und demselben Meßvorgang beide Komponenten ermittelt werden können. Daher ist es möglich, die Ramanstreuung von den anderen störenden Leuchterscheinungen zu trennen und die Dichten der Gaskomponenten selektiv, d.h. ohne störende Fremdemissionen, zu ermitteln.

Die Analyse der polarisierten Emission ist wichtig und patentrelevant, da sie die Unterscheidung der Emissionen und damit eine selektive Messung der einzelnen Gaskomponenten in Gasgemischen mit komplexer Zusammensetzung erlaubt. Die hohe Intensität der Ramanstreuung ist wichtig und patentrelevant, da durch sie die Meßpräzision so hoch wird, daß die real auftretenden zyklischen Schwankungen in der Gaszusammensetzung vermessen werden können.

Es können neben der Ramanstreuung auch andere optische Meßtechniken zur Bestimmung der Teilchendichten von Kraftstoff, Luft und Restgas für die Erstellung von Kennfeldern herangezogen werden, wie z.B. Absorption oder laser induzierte Emissionen oder FTIR.

In der Absorptionsspektroskopie wird die Dichte der Teilchen - integriert über Orte längs des Absorptionslichtweges - im Brennraum durch Abnahme des eingestrahnten Lichtes bestimmt. Dabei kann die "direkte" Absorption durch die natürlich anwesenden Moleküle oder die Absorption durch tracer verwendet werden.

Für die direkte Absorption können die Wasserdichte (für die Bestimmung des Restgasgehaltes) und die Kraftstoffdichte z.B. über IR Absorption bestimmt werden. Der Sauerstoffgehalt kann z.B. über die Absorption im tiefen UV (z.B. Schumann Runge Banden) bestimmt werden. Eine andere Absorptionstechnik ergibt sich durch die selektive Zugabe von Substanzen ("tracern"). So kann dem Kraftstoff ein tracer (z.B. Aceton) zugegeben werden und über die Absorption des tracers die Dichte des tracers (z.B. die Acetondichte) ermittelt und darüber die Kraftstoffdichte bestimmt werden. Entsprechend können andere absorbierende Moleküle der Luft zugegeben werden um die Luftdichte zu messen. Durch Injektion eines tracers im Brennraum zum Zeitpunkt des Gasauslasses (z.B. im Bereich des oberen Totpunktes) kann auch der Restgasgehalt in der frischen Ladung bestimmt werden. Aus den Daten über Kraftstoff, Luft und Restgas kann wiederum durch Verhältnisbildung die Stöchiometrie und der Restgasgehalt bestimmt werden.

Die Teilchendichten können auch durch Zugabe von tracern, die sich mit Lasern zum Leuchten anregen lassen bestimmt werden (laser induzierte Emissionen). So kann man dem Kraftstoff, der Luft und dem Restgas verschiedene tracer zugeben und die Anregungswellenlänge des Lasers und die Emissionswellenlängen so auswählen, daß eine

**ERSATZBLATT**

spektrale Trennung der Emissionen möglich wird und damit die Komponenten simultan nachgewiesen werden. Aus der Intensität der laser induzierten Emissionen kann dann die Dichte von Kraftstoff, Luft und Restgas bestimmt werden und wiederum durch Verhältnisbildung die Stöchiometrie und der Restgasgehalt ermittelt werden.

Wesentlich und patentrelevant ist die Erstellung von Kennfeldern und die Verwendung der Kennfelder zur Charakterisierung und Optimierung der Arbeitsweise von Motoren. Aus den Meßdaten über die Teilchendichten und eventuell andere Größen (Druck, Temperatur, Schadstoffe) kann ermittelt werden, unter welchen Bedingungen der Motor arbeitet und ob Verbesserungen vorgenommen werden können. So erhält man z.B. durch Auftragen des Lambdawertes (aus der relativen Intensität von  $O_2$  zu Kraftstoff, s.u.) auf der X-Achse, der Abgasmenge (über die Menge des Wassers und  $O_2$ ) auf der Y-Achse und der zugehörigen Leistungsabgabe auf der Z-Achse die Abhängigkeit der Leistungsabgabe von Stöchiometrie und Abgasanteil. Diese Gegenüberstellung von Ursache und Wirkung gibt eine direkte Vorschrift für eine Optimierung, nach der z.B. ein Einspritzsystem gezielt verändert und auch überprüft werden kann, ob eine gezielte Veränderung die gewollte Auswirkung hat. Die simultane Erfassung der Größen  $[O_2]$ ,  $[N_2]$ ,  $[H_2O]$  und  $[f]$  ( $[x]$  ist die Dichte der Teilchensorte  $x$ ,  $f$  = Kraftstoff) vor einem Verbrennungszyklus nach der Verdichtung zusammen mit der Druckkurve des vorigen und aktuellen Verbrennungszyklus liefert z.B. folgende Information:

1. Stöchiometrie der Gasmischung
2. Abgasanteil vom vorigen Zyklus in der Gasmischung
3. eingelassene Luftmenge
4. eingelassene Kraftstoffmenge
5. die mit der Gaszusammensetzung erzielte Leistung
6. den Einfluß des vorherigen Zyklus auf den Gasaustausch

Der Abgasanteil im Motorbrennraum vom vorherigen Zyklus kann aus dem Verhältnis von  $H_2O/N_2$  (da der Wasseranteil in der zugeführten Luft vernachlässigbar klein ist) oder auch über das Verhältnis  $O_2/N_2$  bestimmt werden.

Durch die simultane, präzise Erfassung verschiedener Meßgrößen ist es also möglich, kausale Zusammenhänge in einzelnen Verbrennungszyklen zu ermitteln und dadurch die Betriebsbedingungen des Motors zu charakterisieren und die Erkenntnisse als Basis zur Optimierung zu verwenden. Als Beispiel sei noch einmal genannt die gleichzeitige Messung der Stöchiometrie und des Abgasanteils in einem bestimmten Meßvolumen vor der Zündung simultan mit der Aufnahme der Druckkurve für den aktuellen Verbrennungszyklus. Diese

Messung erlaubt es, die Ursache (Gemischzusammensetzung vor der Zündung) mit der Wirkung (Leistungsabgabe) zu verknüpfen. Durch die simultane Messung weiterer Größen (z.B. der NO-Dichte über LIF, Temperaturen, ...) in dem selben Zyklus könne weitere Aussagen über Ursache und Wirkung getroffen werden. Wesentlich für die vorliegende Erfindung ist auch, daß die kleinen Schwankungen in der Gemischzusammensetzung vor der Zündung genau genug erfaßt werden können.

### **Ergebnisse der Voruntersuchungen**

Abbildung 1 zeigt zwei Emissionsspektren aus dem Verbrennungsmotor. Wenn der elektrische Vektor des Laserlichtes in Beobachtungsrichtung liegt (vgl.Fig.4) wird der durch Fremdemissionen verursachte Untergrund sichtbar. Wenn der elektrische Vektor des Laserlichtes senkrecht zur Beobachtungsrichtung steht, wird die durch die Ramanstreuung und den Untergrund verursachte Emission sichtbar. Die Differenz (vereinfacht gesagt) ist das Ramansignal. Das Bild zeigt deutlich, daß die Polarisation der Ramanstreuung verwendet werden kann, um den Untergrund zu ermitteln. Bei der quantitativen Deutung ist zu berücksichtigen, daß auch depolarisierte Teile der Ramanstreuung auftreten.

Die Ergebnisse der Voruntersuchungen in Abb.2 und 3 zeigen, daß es möglich ist - für eine gegebene Betriebsbedingung des Motors - die erwähnten kleinen Schwankungen in der Stöchiometrie im Einzelschuß zu messen. In den Versuchen mit einem VW-Transparentmotor stellte sich z.B. heraus, daß die Schwankungsbreite der Stöchiometrie im Bereich von  $\Delta\Lambda = 0.2$  liegt, d.h. z.B. daß bei einer extern eingestellten  $\Lambda$ -Zahl von 1.0 die gemessene  $\Lambda$ -Zahl zwischen 0.9 und 1.1 schwankt. Diese Schwankungen sind in Abb. 2 dargestellt. Daß diese Schwankungen genau genug gemessen sind, um den Einfluß der Schwankung der Gasmischung auf die Leistung zu ermitteln, ist an dem simultan gemessenen Druck zu erkennen: Für die Zyklen mit fetten Gemischen ist der Maximaldruck hoch und schwankt wenig, für die mageren Zyklen ist der Maximaldruck tiefer und schwankt erheblich stärker. Abb.3 zeigt Ergebnisse von Messungen, die neben der Stöchiometrie auch den zusätzlichen Einfluß des Abgasanteils darstellen. Das Bild zeigt den erreichten Maximaldruck als Funktion der Stöchiometrie und des Abgasanteils und wird hier als Kennfeld bezeichnet. Offensichtlich führen größere Abgasanteile zu kleineren Drücken und damit zu weniger Leistungsabgabe.

Das Kennfeld, das hier für eine Arbeitsweise des Motors dargestellt ist, hängt von der Arbeitsweise des Motors ab. Es kann zur Unterscheidung der verschiedenen Arbeitsweisen verwendet werden.

Insbesondere liefert auch die Druckkurve des vorherigen Zyklus wichtige Informationen z.B. über die Historie des Gasaustausches im Brennraum. Wenn z.B. der Druck im vorherigen Zyklus groß war, findet man im Folgezyklus - für eine bestimmte Betriebsbedingung -

weniger Kraftstoff. Dieses wird durch den noch nicht vollständig abgebauten Druck während des Einlasses des Kraftstoffes erklärt. Die Korrelation zwischen der vorherigen Druckkurve mit dem Kraftstoffanteil liefert daher indirekte Information über den Gasaustausch im Brennraum. Die absolute  $N_2$ -Menge liefert Informationen über die gesamt eingelassene Luftmenge und damit z.B. über die Drosselklappenstellung, die den Druck im Saugrohr reguliert. Auf diese Weise werden - über den durch die Majoritätendichten charakterisierten Gasaustausch - indirekte Rückschlüsse über die gasdynamischen Prozesse nicht nur im Brennraum gewonnen.

Die Erkenntnisse, die aus diesen Ergebnissen hervorgehen, sind wesentlich: durch die präzise Messung der Stöchiometrie und des Abgasanteils ist es möglich, ein Kennfeld (Abb.3) aufzunehmen, das es erlaubt, die Leistungsabgabe des Motors so zu optimieren, daß der Druck - als Funktion der beiden wichtigen Größen Stöchiometrie und Abgasanteil - maximal wird. Dieses sollte z.B. über die Variation der Einspritzung oder andere relevante Einflußparameter geschehen.

Die Messungen können auch gemittelt über verschiedene Zyklen erfolgen, falls das Signal im Einzelschuß nicht genügend Intensität liefert. Bei diesen Messungen mitteln sich die kleinen Schwankungen in der Stöchiometrie und im Abgas weg, so daß in einer Darstellung wie in Abb.3 die Schwankungen sehr viel kleiner werden und reproduzierbare charakteristische Daten gewonnen werden. Man kann dann als Funktion anderer motorischer Parameter untersuchen, in welchem Bereich dieses Kennfeldes der Motor arbeitet, d.h. für jede Betriebsbedingung in Abb.3 einen bestimmten Bereich abdecken.

#### **Messungen mit Raman und Rayleighstreuung.**

Durch die bei verschiedenen Wellenlängen getrennt auftretenden Ramanemissionen von Stickstoff [ $N_2$ ], Sauerstoff [ $O_2$ ], Wasser [ $H_2O$ ] und Kraftstoff (z.B. [ $C_8H_{18}$ ]) ist es möglich, eine simultane Messung der Intensität dieser Emissionen durchzuführen. Die Basis der Verfahren ist vollständig bekannt und auch, daß Stöße bei hohen Drücken eine untergeordnete Rolle spielen. Im Folgenden wird kurz beschrieben, auf welcher Basis hier die Daten ausgewertet werden.

Es gilt:  $I_{i \text{ ram}} = S \sigma_{i \text{ ram}} [i] E_0$

mit der Energie  $E_0$  des Laserpulses, dem Ramanquerschnitt  $\sigma_{i \text{ ram}}$  für Teilchen  $i$  und der Partialdichte  $[i]$  der Teilchen  $i$ .  $S$  ist die Empfindlichkeit des Meßsystems für den Nachweis von Teilchen  $i$ .  $S$  ist im Prinzip separat für jede Teilchensorte und jeden Ort zu bestimmen,



wird hier aber der Einfachheit halber als konstant angenommen. Für die relative Messung der Dichten der Teilchen  $i, j$  gilt:

$$I_{i \text{ ram}}/I_{j \text{ ram}} = S_i/S_j \quad \sigma_{i \text{ ram}}/\sigma_{j \text{ ram}} [i]/[j]$$

d.h. aus der relativen Intensität für die beiden Komponenten kann - ohne daß die Laserenergie oder z.B. die Nachweisempfindlichkeit eingeht - das Verhältnis der Dichten  $[i]/[j]$  bestimmt werden. Da sich die Stöchiometrie aus der relativen Intensität von  $O_2$  zu Kraftstoff ergibt, ist die Stöchiometrie mit größerer Präzision als die Einzelkomponenten zu erfassen.

Des weiteren ist es möglich, die Intensität der Rayleighstreuung gleichzeitig zu messen und - in Verbindung mit der Ramanstreuung - Informationen über die gesamte Dichte (=Summe der Partialdichten der Majoritätenspezies) zu erhalten.

Es gilt:

$$I_{i \text{ ray}} = S E_0 \sum_i \sigma_{i \text{ ray}} [i]$$

und wegen

$$[i] = I_{i \text{ ram}} / \sigma_{i \text{ ram}} E_0$$

$$I_{\text{ray}} = S \sum_i (\sigma_{i \text{ ray}}/\sigma_{i \text{ ram}}) I_{i \text{ ram}}$$

Es ist also die Auswertung der Rayleighstreuung über die Summe der Ramanintensitäten möglich. Hier fällt die Laserenergie nicht heraus, da sie implizit in der Ramanintensität enthalten ist. Es ist wohl bekannt, daß die Rayleighstreuung verwendet werden kann, um über das Gasgesetz - in Verbindung mit dem über die gemessene Druckkurve bekannten Druck zum Zeitpunkt der Messung - die Temperatur zu ermitteln. Auch die Rayleighstreuung ist polarisiert und ihre Intensität nimmt mit der vierten Potenz der Frequenz zu. Da die Rayleighstreuung sehr viel intensiver als die Ramanstreuung ist, liefert sie für die gesamte Dichte oder die Temperatur eine hohe Meßgenauigkeit.

Auf diese Weise können - in Verbindung mit Eichmessungen - zunächst separat die partiellen Dichten von Kraftstoff, Luft und Wasser bestimmt werden. Daneben kann über kombinierte Messung der Druckkurve und der Rayleighstreuung die Temperatur ermittelt werden.

Eine konkrete Anordnung zum Messen ist - als ein Beispiel aus vielen - in Abb.4 dargestellt. In diesem Fall wird der intensive gepulste UV Laserstrahl (1) durch den Brennraum eines Motors geschossen. Dazu sind in den oberen Teil UV transmittierende Fenster (2) eingesetzt. Neben dem Brennraum mit der Zündkerze (3) und dem Einlaßventil (4) ist weiterhin im Querschnitt ein Teil des Saugrohres mit dem Einspritzventil (5) gezeigt. Von einem Abschnitt

mit endlicher Länge aus dem Brennraum längs des Laserstrahles wird das gestreute Ramanlicht über ein Fenster im Kolben (6) und einen Umlenkspiegel (7) zum räumlich auflösenden optischen Vielkanalanalysator (8) gelenkt. Dieser ist in Abb.5 näher beschrieben. Eine Abbildungsoptik (9) bildet die Laserstrahlachse (16) auf den Spalt (10) eines Spektrographen ab. Dieser besteht üblicherweise aus mehreren Spiegeln (11) und einem Dispersionsgitter (12). In dem Spektrographen werden die verschiedenen Emissionen nach Wellenlängen getrennt (entlang der Achse (14)) und mit einer intensivierten, kurz öffnenden CCD Kamera (13) nachgewiesen. Der Aufbau ermöglicht zusätzlich eine örtliche Zuordnung der Ramanemission längs des abgebildeten Abschnittes aus dem Brennraum entlang der Achse (15). Zur Bestimmung der Polarisation der verschiedenen Emissionen kann z.B. das Rochonprisma zur Trennung verwendet werden. Die beschriebene Anordnung wird üblicherweise - bis auf die Polarisationsanalyse - mit dem Stichwort "örtlich aufgelöster optischer Vielkanalanalysator" bezeichnet.

Abb.6 zeigt eine andere Realisierung der Meßtechnik, die Rückstreuung. Hier ist der optische Zugang zum Motor nur durch kleine Fenster (17) an der Seite realisiert. Auf eines der Fenster (17), durch den der Laser in Abb.6 den Brennraum verläßt, kann gegebenenfalls verzichtet werden. Der Laser (1) wird über einen dichroitischen Spiegel (18) in den Brennraum eingekoppelt. Die Ramanemission - und auch andere Emissionen - werden über eines der Fenster an der Seite (17) ausgekoppelt und wiederum mit einem optischen Vielkanalanalysator (vgl. Abb.5) - und einem Polarisationsanalysator - nachgewiesen (8). In diesem Fall ist in dem Medium unter Umständen auch noch (etwas) örtliche Auflösung zu erhalten, wenn das Fenster in einer Richtung ausgedehnt ist.

Die Messung kann auch mit anderen spektralen Filtern und anderer Analyser der Polarisation erfolgen.

**Ansprüche**

- 1 Verfahren und Meßanordnung zur Charakterisierung und Optimierung von Brennkraftmaschinen durch Messung der Gaszusammensetzung im Brennraum und eventuell noch anderer Größen, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Teilchendichten durch optische Meßtechnik, und eventuell zusätzlich Gasdruck und -temperatur, gemessen werden und daß aus diesen Meßgrößen und daraus abgeleiteten Größen Korrelationen erstellt werden, um daraus eventuelle kausale Zusammenhänge der motorischen Verbrennung aufzudecken.
- 2 Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilchendichten und eventuell Druck und Temperatur simultan in Einzelzyklen gemessen werden.
- 3 Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Kombination simultan gemessener Teilchendichten wichtige Größen wie die Luftzahl (z.B. aus Konzentrationen von Sauerstoff- zu Kraftstoffdichte) und/oder der Restgasgehalt (z.B. aus Konzentrationen von Wasser- zu Stickstoffdichte) bestimmt werden.
- 4 Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die simultane Messung der Teilchendichten mittels Laser Induzierter Emissionen (z.B. Ramanstreuung oder LIF von selektiv zugegebenen tracern) oder Absorptionsspektroskopie im UV, VIS oder IR (u.U. mit selektiv zugegebenen tracern) oder FTIR erfolgt.
- 5 Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Bestimmung von Luftzahl und/oder Restgasgehalt aus den Teilchendichten diese Größen so präzise bestimmt werden können, daß die kleinen zyklischen Schwankungen dieser Größen im Betrieb der Brennkraftmaschine aufgelöst werden können.
- 6 Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Laser Ramanstreuung mit einem intensiven Laser im UV und einem optischen Vielkanalanalysator sowie einem wellenlängenselektiven Bauteil (z.B. Spektrometer) erfolgt und eventuell Polarisationsseigenschaften (u.U. durch simultane Messung beider Polarisationskomponenten) zur Unterdrückung von interferierenden Emissionen ausgenutzt werden.
- 7 Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung der Teilchendichten mit Ortsauflösung (z.B. entlang einer Achse) oder über Ortsbereiche gemittelt oder an einzelnen speziellen Orten (z.B. an der Zündkerze) durchgeführt werden.
- 8 Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß aus den Einzelzyklusmessungen Mittelwerte und/oder Schwankungsbreiten der Meßgrößen und/oder der daraus abgeleiteten Größen ermittelt werden oder die Messungen von vornherein über Zyklen gemittelt durchgeführt werden.
- 9 Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die kausalen Zusammenhänge über Kennfelder erkannt werden durch die Auftragung von z.B. Stöchiometrie und Restgas gegen die nachfolgende Leistung oder durch Auftragung der

Leistung im Vorzyklus auf die nachfolgende Ladungszusammensetzung ("Kennfelder") und daß diese Kennfelder, eventuell als Funktion der motorischen Parameter, verwendet werden, um über die resultierenden Erkenntnisse eine Optimierung (z.B. des Einspritzsystems) zu erzielen.

10 Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß andere Meßgrößen (z.B. Temperatur, Schadstoffe wie NO oder HC) u.U. später aber in demselben Zyklus gemessen werden und zur weiteren Charakterisierung der Betriebsbedingungen herangezogen werden.

11 Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich zur Ramanstreuung die Rayleighstreuung mitgemessen wird, um die gesamte Dichte (und damit die Temperatur) zu bestimmen.

12 Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Laser Induzierte Emission in Rückstreuung mit oder ohne örtliche Auflösung beobachtet wird.

1/6

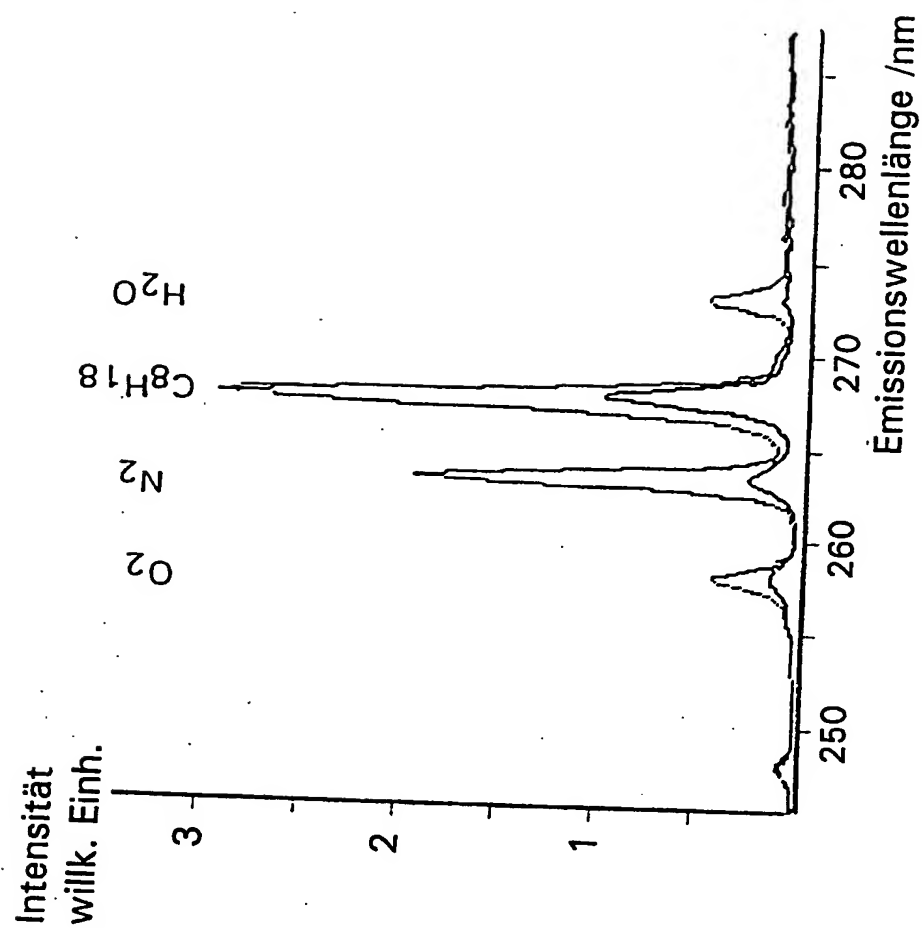


Abb. 1

ERSATZBLATT

2/6

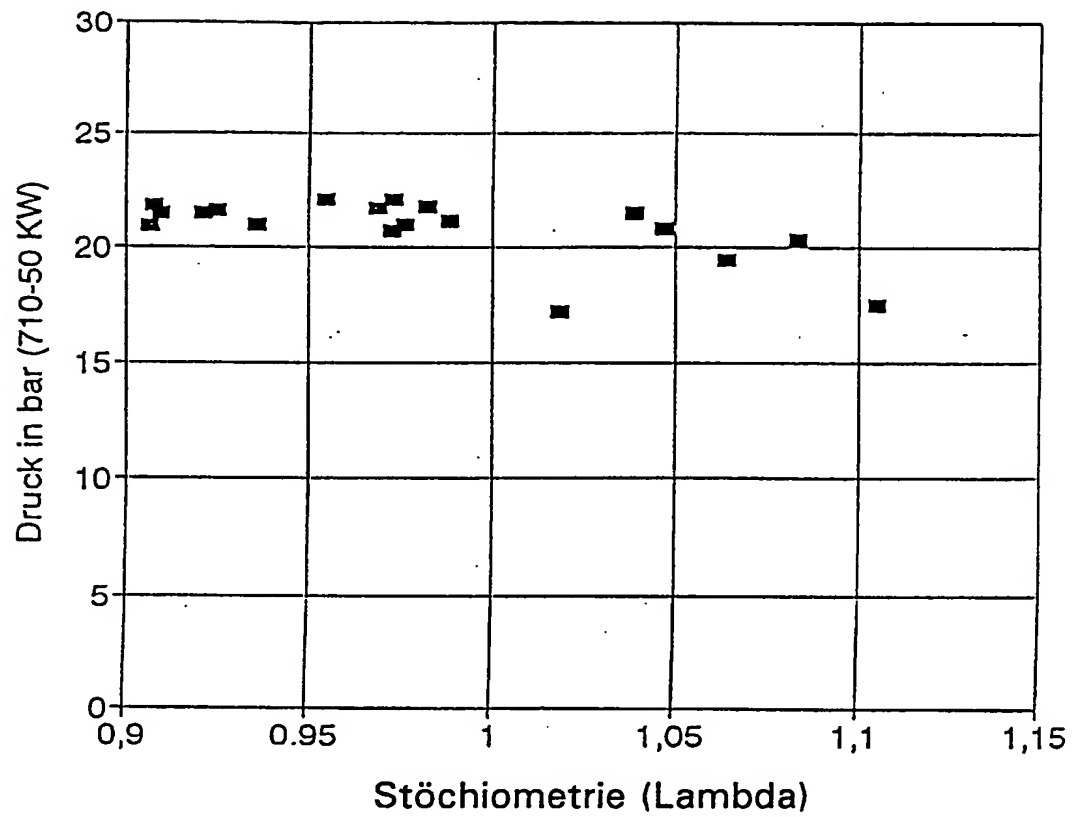


Abb. 2

ERSATZBLATT

3/6

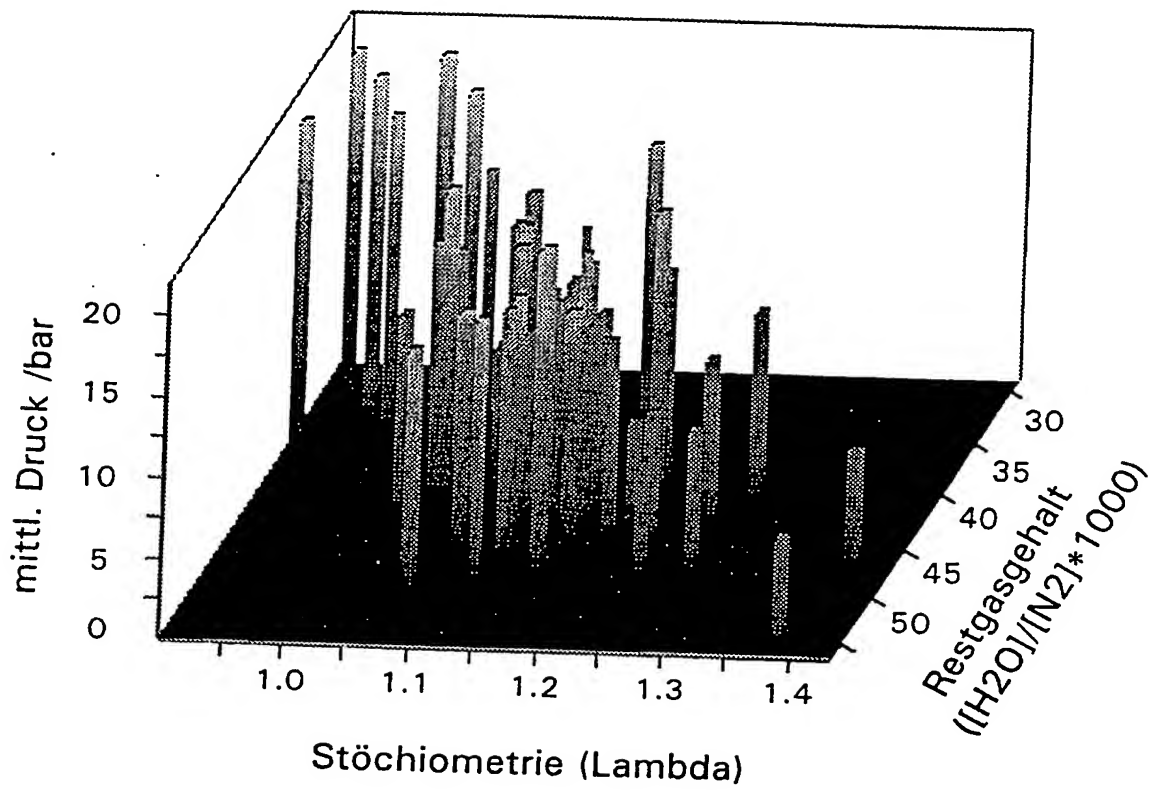


Abb. 3

ERSATZBLATT

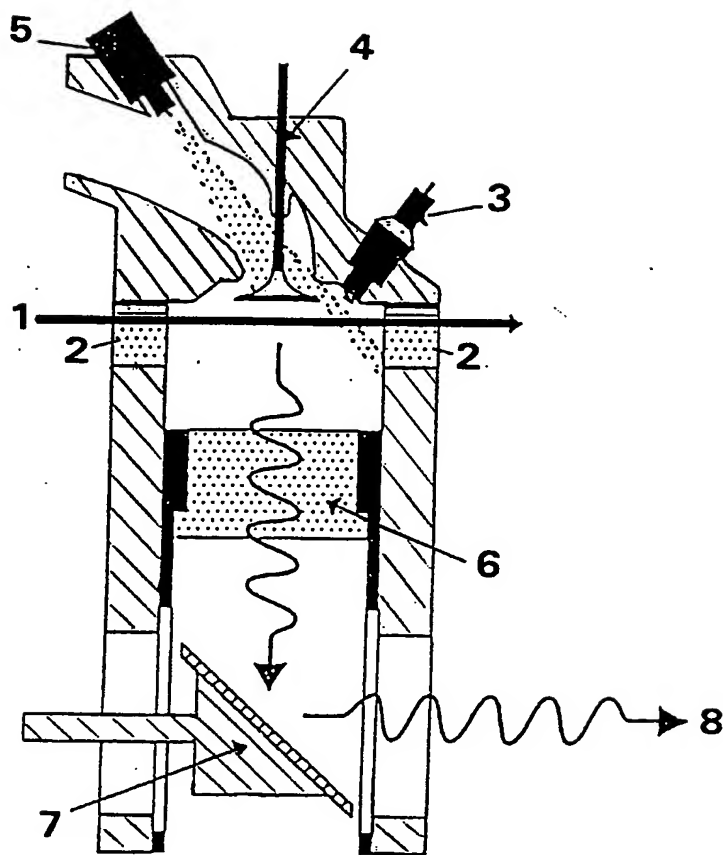


Abb. 4



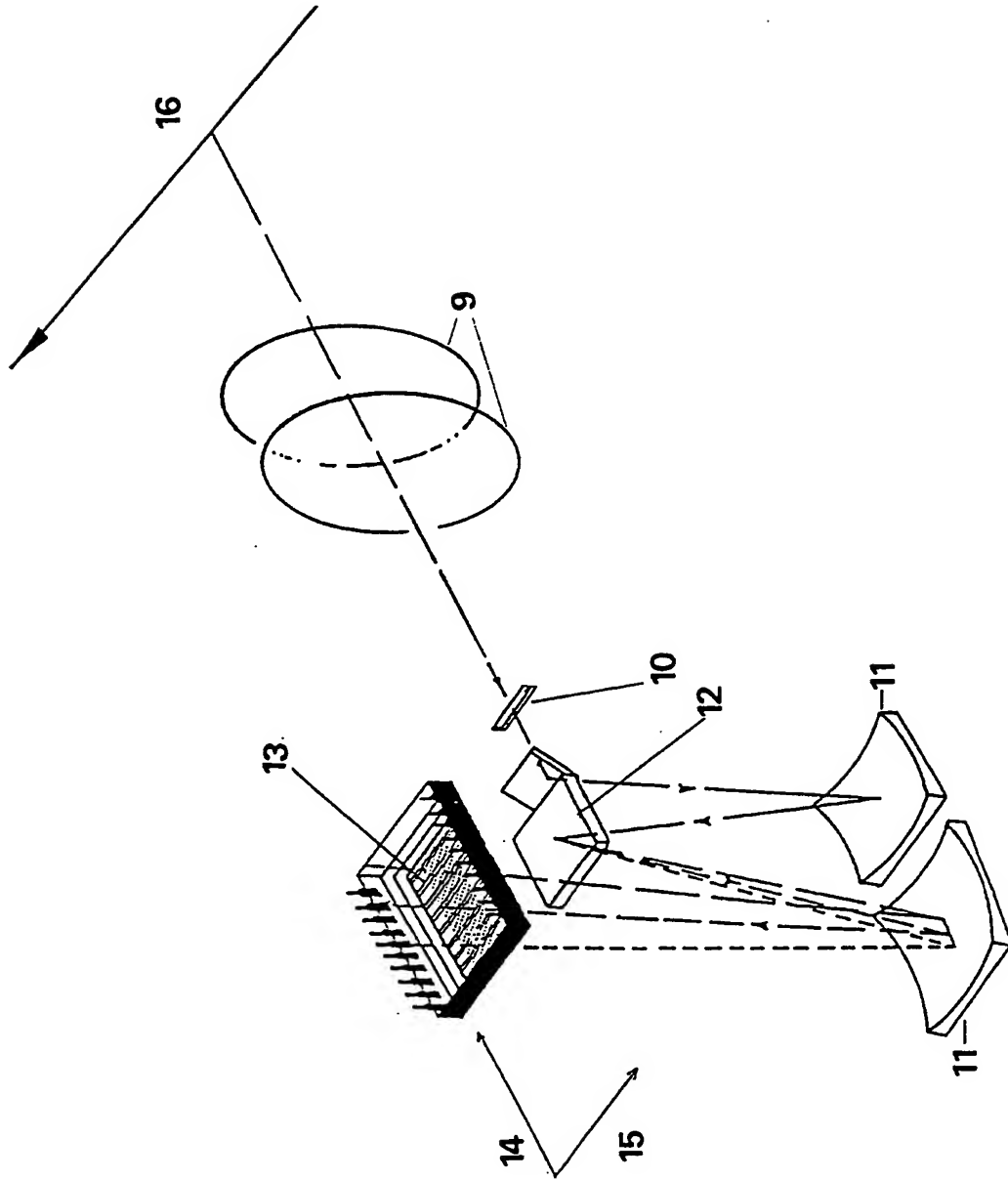


Abb. 5

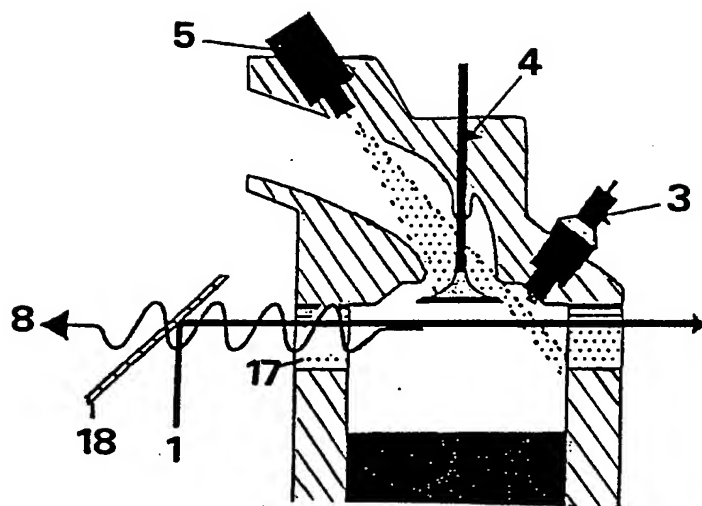


Abb. 6

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 94/00696

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 5 G01N21/65 G01N21/39 F02B77/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 5 G01N G01J G01K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PROCEEDINGS OF THE TENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAMAN SPECTROSCOPY, 5 September 1986, EUGENE, US pages 20-30 - 20-31 D.DESENNE ET AL. 'Pulsed multichannel raman spectroscopic investigation of the spatial distribution of molecular species in an engine' see the whole document ---	1,2,4,5, 7,8,10
X	APPLIED PHYSICS B. PHOTOPHYSICS AND CHEMISTRY, vol.856, March 1993, HEIDELBERG DE pages 165 - 176 A.KOCH ET AL. 'Multi-Species Detection in Spray flames with Tunable Excimer Lasers' see the whole document --- -/--	1,2,4,6, 7,10-12

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☐ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specific)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 October 1994

Date of mailing of the international search report

09. 11. 94

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Scheu, M

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intro. International Application No  
PCT/DE 94/00696

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>APPLIED PHYSICS B. PHOTOPHYSICS AND CHEMISTRY, vol.B56, March 1993, HEIDELBERG DE pages 177 - 184 A.KOCH ET AL 'Planar Imaging of a Laboratory Flame and of Internal combustion in an Automobile engine using UV Rayleigh and Fluorescence Light' see the whole document ---</p>	1,2,4,7, 10,12
X	<p>APPLIED OPTICS., vol.32, no.6, 20 February 1993, NEW YORK US pages 907 - 918 W.RECKERS ET AL. 'Spatially resolved multispecies and temperature analysis in hydrogen flames' see the whole document ---</p>	1,2,4-8, 10,11
X	<p>APPLIED OPTICS., vol.29, no.15, 20 May 1990, NEW YORK US pages 2325 - 2332 R.W.PITZ ET AL. 'Single pulse vibrational Raman scattering by a broadband KrF excimer laser in a hydrogen-air flame' see the whole document ---</p>	1,2,4-8
X	<p>APPLIED OPTICS., vol.29, no.16, 1 June 1990, NEW YORK US pages 2392 - 2404 P.ANDRESEN ET AL. 'Fluorescence imaging inside an internal combustion engine using tunable excimer lasers' see the whole document ---</p>	1,2,4-8, 10,12
P,X	<p>APPLIED PHYSICS B. PHOTOPHYSICS AND CHEMISTRY, vol.B58, April 1994, HEIDELBERG DE pages 333 - 342 G.GRUNFELD ET AL 'Spatially Resolved Raman Scattering for Multi-Species and Temperature Analysis in Technically Applied Combustion Systems: Spray Flame and Four-Cylinder In-Line Engine' see the whole document -----</p>	1-12

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 94/00696

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 5 G01N21/65 G01N21/39 F02B77/08

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikations symbole)

IPK 5 G01N G01J G01K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	PROCEEDINGS OF THE TENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAMAN SPECTROSCOPY, 5. September 1986, EUGENE, US Seiten 20-30 - 20-31 D.DESENNE ET AL. 'Pulsed multichannel raman spectroscopic investigation of the spatial distribution of molecular species in an engine' siehe das ganze Dokument ---	1,2,4,5, 7,8,10
X	APPLIED PHYSICS B. PHOTOPHYSICS AND CHEMISTRY, Bd.B56, März 1993, HEIDELBERG DE Seiten 165 - 176 A.KOCH ET AL. 'Multi-Species Detection in Spray flames with Tunable Excimer Lasers' siehe das ganze Dokument --- -/-	1,2,4,6, 7,10-12

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☐ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. Oktober 1994

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

09. 11. 94

Name und Postanschrift der Internationale Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+ 31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Scheu, M

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 94/00696

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>APPLIED PHYSICS B. PHOTOPHYSICS AND CHEMISTRY, Bd.B56, März 1993, HEIDELBERG DE Seiten 177 - 184 A.KOCH ET AL 'Planar Imaging of a Laboratory Flame and of Internal combustion in an Automobile engine using UV Rayleigh and Fluorescence Light' siehe das ganze Dokument ---</p>	1,2,4,7, 10,12
X	<p>APPLIED OPTICS., Bd.32, Nr.6, 20. Februar 1993, NEW YORK US Seiten 907 - 918 W.RECKERS ET AL. 'Spatially resolved multispecies and temperature analysis in hydrogen flames' siehe das ganze Dokument ---</p>	1,2,4-8, 10,11
X	<p>APPLIED OPTICS., Bd.29, Nr.15, 20. Mai 1990, NEW YORK US Seiten 2325 - 2332 R.W.PITZ ET AL. 'Single pulse vibrational Raman scattering by a broadband KrF excimer laser in a hydrogen-air flame' siehe das ganze Dokument ---</p>	1,2,4-8
X	<p>APPLIED OPTICS., Bd.29, Nr.16, 1. Juni 1990, NEW YORK US Seiten 2392 - 2404 P.ANDRESEN ET AL. 'Fluorescence imaging inside an internal combustion engine using tunable excimer lasers' siehe das ganze Dokument ---</p>	1,2,4-8, 10,12
P,X	<p>APPLIED PHYSICS B. PHOTOPHYSICS AND CHEMISTRY, Bd.B58, April 1994, HEIDELBERG DE Seiten 333 - 342 G.GRÜNFELD ET AL 'Spatially Resolved Raman Scattering for Multi-Species and Temperature Analysis in Technically Applied Combustion Systems: Spray Flame and Four-Cylinder In-Line Engine' siehe das ganze Dokument -----</p>	1-12